МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

БЕЛОХА ГАЛИНА СЕРГЕЕВНА

УДК 621.316.721

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ
С РЕЛЕЙНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

05.09.12 Полупроводниковые преобразователи электроэнергии

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

Самчелеев Юрий Павлович, канд. техн. наук, доцент

Лисичанск - 2015
СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ВВЕДЕНИЕ

5

6

1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНО СОВМЕСТИМЫХ С СЕТЬЮ 12

1. ТРЕХФАЗНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ 32
	1. Принцип построения систем стабилизации тока 32
		1. Функциональная схема системы стабилизации тока 41
		2. Разработка математических моделей 44
		3. Определение частоты релейного режима 50
		4. Электромагнитные процессы 56
			1. Электромагнитные процессы при формировании в нагрузке постоянного

тока 57

* + - 1. Электромагнитные процессы при формировании в нагрузке тока

синусоидальной формы 61

* + - 1. Определение величины емкости конденсаторов 63
		1. Цифровое моделирование систем стабилизации тока 65
		2. [Гармонический состав потребляемых токов 71](#bookmark75)
		3. Влияние дестабилизирующих факторов на работу систем стабилизации

тока 72

* + 1. Влияние параметров систем стабилизации 81
		2. Примеры применения ССТ 83 83
	1. Система стабилизации напряжения 84
		1. Математическая модель ССН 85
		2. Цифровое моделирование ССН 87
	2. Система стабилизации мощности 89
		1. Математическая модель ССМ 90
		2. Цифровое моделирование ССМ 91
1. ОДНОФАЗНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ 95
	1. Однофазные системы стабилизации тока 95
		1. Функциональная схема системы стабилизации тока 99
		2. Разработка математических моделей систем стабилизации тока 100
		3. Определение частоты релейного режима 103
		4. Электромагнитные процессы при стабилизации тока нагрузки 105
			1. Электромагнитные процессы при формировании постоянного тока в

нагрузке 105

* + - 1. Электромагнитные процессы при формировании в нагрузке тока в

нагрузке тока синусоидальной формы 106

* + - 1. Электромагнитные процессы в режиме преобразователя частоты 108
		1. Определение величины емкости конденсаторов 109
		2. Разработка цифровых моделей систем стабилизации 110
		3. Гармонический состав потребляемых токов 114
		4. Применение ССТ в электроприводах постоянного тока 117
	1. Однофазные системы стабилизации напряжения 119
	2. Однофазные системы стабилизации мощности 122
	3. Экспериментальное исследование системы стабилизации тока 125
		1. Объект экспериментальных исследований 125
		2. Экспериментальные исследования ССТ6 130
			1. Методика проведения эксперимента 131
			2. Результаты экспериментальных исследований 131
1. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ НА БАЗЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКА 135
	1. Функциональная схема преобразователя частоты 137
	2. Разработка математических моделей 137
	3. Определение частоты релейного режима 147
	4. [Электромагнитные процессы в преобразователях частоты 150](#bookmark302)
	5. Цифровое моделирование преобразователей частоты 159

ВЫВОДЫ 168

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 171

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Электромагнитные процессы в системах стабилизации 182 ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Модель системы управления ССТ 215

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Цифровые модели и результаты моделирование систем стабилизации 218

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Программы расчета систем стабилизации и преобразователей частоты 222

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акты внедрения 231

ВЫВОДЫ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена важная научная задача построения источников питания на базе следящих систем с релейным управлением и принудительным формированием потребляемых из сети токов синусоидальной формы при отсутствии фазового сдвига между фазным напряжением и током и приданием им свойств источников тока, напряжения и мощности с возможностью регулирования выходного параметра по величине, форме и частоте. Это позволило решить проблему электромагнитной совместимости, предельного быстродействия, малой чувствительности к действию возмущений при существенном упрощении источников по сравнению с источниками на базе силовых активных фильтров.

Исследования, выполненные в диссертационной работе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенный раздельный способ управления вентилями активного выпрямителя и реверсора позволил существенно упростить алгоритм управления и, как следствие, реализацию системы управления источником питания.
2. Разработанные математические и цифровые модели подтвердили правильность предложенного принципа построения ССТ, ССН, ССМ, ПЧ и позволили выполнить исследование всех режимов их работы при любых видах нагрузки с учетом их конкретной схемотехники.
3. Моделированием подтверждено, что разработанные системы обладают равными расширенными функциональными возможностями и реализуют следующие режимы работы:
4. преобразование трехфазного переменного напряжения неизменной частоты и амплитуды в постоянный ток с возможностью регулирования его величины и стабилизации на заданном уровне;
5. преобразование трехфазного переменного напряжения неизменной частоты и амплитуды в однофазный ток различной формы и регулируемой частоты;
6. преобразование однофазного переменного напряжения неизменной частоты и амплитуды в трехфазный ток (напряжение) регулируемой частоты и амплитуды.
7. Впервые получены аналитические выражения для определения частоты релейного режима в контурах формирования потребляемых токов и тока нагрузки. Доказана ее связь с шириной петли гистерезиса релейных элементов, индуктивностью входных дросселей, напряжениями на конденсаторах и сети.
8. По результатам исследования электромагнитных процессов в рассмотренных системах впервые получены аналитические выражения для расчета емкости конденсаторов, а также выявлены параметры, которые влияют на поведение напряжения на конденсаторах в процессе формирования потребляемых токов и тока нагрузки.
9. На базе систем стабилизации тока разработано восемь вариантов преобразователей частоты (четыре при питании от трехфазной сети и четыре при питании от однофазной сети). Все варианты преобразователей частоты электромагнитно совместимы с сетью, нечувствительны к действию возмущений, амплитудной и фазовой асимметрии питающего напряжения и изменению его частоты, в отдельных случаях сохраняется работоспособность при обрыве одной или двух фаз сети.
10. Доказано преимущество источников питания на базе следящей системы с релейным управлением над источниками питания с САФ, что выразилось в существенном упрощении силовой части и системы управления, в высоких динамических показателях (частота пропускания выше в разы в зависимости от величины тока нагрузки) и в уменьшении потерь мощности в линиях за счет уменьшения величины потребляемого тока на 4-12%.
11. Моделированием доказано, что однофазные системы стабилизации по функциональным возможностям не уступают трехфазным системам.
12. Возможность реализации режимов источника напряжения и мощности на базе источника тока позволила разработать универсальный источник питания, совмещающий в себе эти режимы.
13. Гармонический анализ показал, что все рассмотренные источники питания обеспечивают хорошее качество потребляемой энергии (THD существенно меньше 5%, предусмотренных нормативными документами).
14. Разработаны программы расчета основных параметров всех рассмотренных в работе вариантов источников питания.
15. Экспериментально исследовано систему ССТ6, как наиболее простую с точки зрения материальных затрат. Подтверждена работоспособность ССТ6 на базе следящей системы с релейным управлением и принудительным формированием потребляемого из сети тока синусоидальной формы при cos9

Подтверждено, что однофазная ССТ6 нечувствительна к действию параметрических и внешних возмущений и во всех режимах работы остается электромагнитно совместимой с сетью